



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

생활과학석사 학위논문

알칼리 감량 가공을 이용한
초소수성 폴리에스터 직물 개발

2015년 2월

서울대학교 대학원

의류학과

한 미 선

알칼리 감량 가공을 이용한 초소수성 폴리에스터 직물 개발

지도교수 박 정 희

이 논문을 생활과학석사 학위논문으로 제출함
2015년 2월

서울대학교 대학원
의류학과
한 미 선

한미선의 석사 학위논문을 인준함
2015년 2월

위 원 장 한미선 (인)
부위원장 이주영 (인)
위 원 차貞姬 (인)

국 문 초 록

본 연구는 현재 직물 가공에 많이 사용되고 있는 알칼리 감량 가공을 통해 직물 표면에 거칠기를 부여하고 불소계 초소수성을 가진 폴리에스터 직물을 개발하고자 하였다.

시료는 폴리에스터 표준 백포를 사용하였으며 38% NaOH 수용액에 침지 시간을 다르게 하여 처리 시간에 따라 다른 표면 거칠기를 갖도록 하였고 불소계 고분자인 Poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene)와 1H,1H,2H,2H-Perfluorodecyltriethoxysilane 97%를 통해 직물을 소수화시켰다.

알칼리 감량 처리 시간에 따른 직물의 변화를 분석하기 위해 직물의 표면 형태, 표면의 화학조성, 두께·무게 및 섬유 직경, 인장 강도를 평가하였고 젖음성은 정적접촉각과 shedding angle로 나누어 비교·분석하였다.

알칼리 감량 처리 시간이 증가할수록 두께·무게 및 섬유 직경, 인장 강도와 같은 물리적 특성은 감소하였으나 섬유 표면의 표면 거칠기 및 젖음성은 초소수성을 갖는 직물의 조건을 구현하였다. 알칼리 감량 처리 시간이 증가할수록 섬유 표면에 많은 요철이 생기면서 표면 거칠기가 커졌다. 이에 따라 섬유 요철사이에 air pocket이 많이 형성되어 정적접촉각이 증가하였고 shedding angle은 감소하였다.

20분 동안 알칼리 감량 처리한 직물의 경우, 가장 우수한 초소수성을 갖는 표면이었으나 인장 강도와 같은 물리적 특성을 고려하였을 때 정적접촉각 $162.2 \pm 2.7^\circ$ shedding angle $8.8 \pm 0.2^\circ$ 를 보이는 15분 동안 알칼리 감량 처리된 직물을 최적조건으로 보았다.

본 연구에서는 범용되고 있는 알칼리 감량 가공을 이용하여 비교적 간단한 과정으로 대량생산이 가능한 초소수성 폴리에스터 직물을 개발하였다는데 의의가 있다.

주요어 : 알칼리 감량 가공, 표면 개질, 초소수성, 표면 거칠기, 정적접촉각,
shedding angle, roll-off

학 번 : 2013-21524

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 필요성 및 목적	1
제 2 장 이론적 배경	3
제 1 절 초소수성	3
제 2 절 알칼리 감량 가공	7
1. 알칼리 감량 가공	7
2. PET 가수분해 메커니즘	7
제 3 장 실험	11
제 1 절 시료 및 시약	11
제 2 절 실험 방법	12
1. 정련	12
2. 알칼리 감량	12
3. 소수화 처리	12
제 3 절 시료의 특성 평가 및 분석	15
1. 알칼리 감량에 의한 물리적 특성	15
1.1 표면 형태	15
1.2 표면 화학 조성	15
1.3 직물 두께 및 무게	15
1.4 섬유 직경	16
1.5 인장 강도	16
2. 표면 젖음성	17
2.1 정적 접촉각	17

2.2 Shedding angle	18
3. 투과 성능	19
3.1 투습성	19
3.2 공기투과도	20
제 4 장 결과 및 고찰	21
제 1 절 알칼리 감량에 의한 물리적 특성	21
1. 표면 형태	21
2. 표면의 화학 조성	25
3. 식물 두께, 무게 및 섬유 직경	28
4. 인장 강도	31
제 2 절 표면 젖음성	34
1. 정적 접촉각	34
2. Shedding angle	37
제 3 절 투과 성능	40
1. 투습도	40
2. 공기투과도	42
제 5 장 요약 및 결론	45
참고문헌	48
Abstract	54

List of Tables

Table 1. Degree of wetting and contact angle	5
Table 2. Characteristics of PET fabrics	11
Table 3. Specimen codes of various treatments	14
Table 4. Contact angle value of samples after hydrophobization treatment	36
Table 5. Shedding angle value for hydrophobic samples	39

List of Figures

Figure 1. Surface tension on the flat surface	5
Figure 2. SEM image of PET textiles before alkaline treatment	9
Figure 3. SEM image of PET textiles after alkaline treatment	9
Figure 4. Mechanism of PET hydrolysis under alkaline condition	10
Figure 5. Scheme of the experimental process	13
Figure 6. Contact angle measurement	17
Figure 7. Shedding angle measurement	18
Figure 8. SEM images of hydrolyzed PET under different alkaline hydrolysis time	22
Figure 9. High-resolution SEM images for PET under different alkaline hydrolysis time	23
Figure 10. SEM images of hydrolyzed PET after hydrophobization	24
Figure 11. EDX analysis for the 15min hydrolyzed PET fabric before and after hydrophobization treatment	26
Figure 12. EDX images of chemical composite distribution of 15min hydrolyzed PET fabrics before and after hydrophobization treatment	27
Figure 13. Weight and thickness for hydrolyzed PET	

.....	29
Figure 14. Fiber diameters for different alkaline conditions	30
Figure 15. Tensile strength for hydrolyzed PET fabrics and hydrophobic PET fabrics under various conditions	32
Figure 16. Tensile strength and weight for different alkaline hydrolysis time	33
Figure 17. Images of contact angle for different hydrophobic PET fabrics	36
Figure 18. Shedding angle measurement for hydrophobic samples	39
Figure 19. Water vapor transmission of specimens	43
Figure 20. Change for space between fibers	43
Figure 21. Air permeability of samples	44
Figure 22. Correlation between air permeability and diameter	44

제 1 장. 서론

제 1 절. 연구의 필요성 및 목표

초소수성은 수십 년 전부터 최근까지도 부식 방지, 습기 방지, 셀프 클리닝 등의 특성으로 인해 전자 기기, 필터, 의약, 의류 등 넓은 범위의 활용으로 학문적/산업적 측면에서 집중되고 있는 분야이다.[1,2,3]

초소수성은 물을 떨어뜨렸을 때, 150° 이상의 정적접촉각과 10° 미만의 shedding angle을 갖는 표면을 말하며 이러한 성질을 갖는 표면을 구현하기 위해서는 낮은 표면 에너지와 표면 거칠기의 제어가 필요하다. 이를 위해서, 사용되는 방법으로는 전기 방사, CVD, 플라즈마, 졸겔법 등이 있다.[4] 그 중에서도 직물을 초소수화 하는 방법으로 졸겔법과 플라즈마를 이용하는 연구에 집중되어 있다.[5]

그러나 표면거칠기 증대를 위한 졸겔법은 무기물 나노입자 부착 시 일반적으로 텍스타일과 같은 고분자 물질과는 친화도가 작아 외력에 의해서도 쉽게 탈착되어 영구적이지 않으며 기능이 저하된다. 또한, 탈착된 일부 나노입자가 체내로 흡수됨으로써 인체에 유해할 수 있는 잠재성을 가지고 있다.[6,7]

이러한 나노입자를 이용한 이중구조 거칠기 구현의 한계를 보완한 소재 개발을 위해 플라즈마를 사용하고 있지만 직물 위 나노입자를 부착하는 방법 혹은 플라즈마를 이용하여 섬유를 식각하는 방법은 특별한 장치가 요구되고 실험방법이 복잡하다. 또한, 대면적·대량 생산이 어렵고 경제적·시간적 측면에서 많은 한계점을 갖고 있다.[8]

그러나 알칼리 감량 가공의 경우, 의류 산업에서 폴리에스터의 촉감과 광택의 개선을 위해 일반적으로 많이 사용하고 있는 방법으로 범용성을 갖는 공정

이며 대량 생산·대면 가공이 가능한 간단한 방법이다. 그러나 이와 같은 장점에
에도 불구하고 알칼리 감량 가공을 통한 초소수성 직물 개발에 관한 연구 보
고는 많지 않다.

따라서, 본 연구의 목적은 마이크로 수준의 거칠기를 갖는 직물 위에 알칼리
감량 처리를 통해 나노입자를 대체할 영구적인 나노 수준의 표면 거칠기를 갖
는 초소수성 폴리에스터직물을 개발하는 것이다. 이를 위해, 고농도의 알칼리
용액을 사용하여 섬유 전체에 균일한 표면 거칠기를 만들고 fluoropolymer를
사용하여 직물의 표면에너지를 낮춘 초소수성 직물을 개발하고 물리적 특성,
표면 젖음성, 투습성 등을 평가하여 비교·분석한다.

제 2 장. 이론적 배경

제 1 절. 초소수성

초소수성 표면이란 150° 이상의 정적접촉각과 10° 미만의 shedding angle을 갖는 발수성 표면으로 표면 거칠기와 낮은 표면 에너지의 적절한 제어가 필요하다. 이 때, 초소수성 여부를 판별하는 것은 젖음성이다.

젖음성(wetting)이란 고체 표면을 적실 수 있는 액체의 능력으로 액체와 고체 표면의 상호작용에서 기인한다.[9] 만약, 고체와 액체 계면 사이에서 고체-액체간의 분자 상호 작용이 액체-액체 간의 상호 작용보다 크다면 응집력보다 부착력이 더 크게 작용하여 고체 표면이 젖는다. 반면에, 응집력이 부착력보다 크게 작용하면 물방울이 구슬형태와 같이 구형을 이루게 되어 고체 표면이 젖지 않게 된다.[10]

젖음 정도를 평가하기 위해서 고체 표면과 액체가 이루는 정적접촉각을 통해 젖음성을 평가한다. 접촉각은 액체-기체 계면이 고체-액체 계면을 만나 이루는 각으로 정의하며 이들이 이루는 접촉각의 크기는 계면간의 상호작용에 의해 결정된다(Fig.1).[11]

접촉각 θ 가 90° 보다 작을 경우, 표면을 적실 수 있어 표면 위로 액체가 퍼지며 이를 친수성 표면(Hydrophilic surface)이라 이르고 반면 θ 가 90° 보다 큰 경우는 소수성 표면(Hydrophobic surface)이라 일컫는다. 이 때, 접촉각 θ 가 5° 미만의 작은 값을 갖거나 150° 이상의 큰 값을 갖는 경우 각각 초친수성, 초소수성이라고 부른다(Table 1).

이러한 초소수성 표면은 자연계에서도 많이 존재한다. 그 중에서도 연잎은

가장 대표적인 초소수성 표면을 갖는 식물로서 마이크로 돌기들과 그 위에 나노 크기의 소수성 크리스탈로 덮여 있어 물에 젖지 않고 물방울이 roll-off되는 초소수성을 갖는다.[12] 이렇게 초소수성을 지님과 동시에 roll-off를 보이는 현상을 연잎효과(lotus effect)라고 하며 이로 인해 나타나는 대표적인 특징은 self-cleaning이다. self-cleaning은 물방울이 떨어져 굴러가며 표면 위에 먼지와 같은 오구들을 함께 제거하는 성질을 일컫는 말로 초소수성의 대표적인 성질 중 하나이다.

초소수성의 표면은 이러한 젖음 특이성으로 인해 self-cleaning 이외에도 발수성, 부식방지, 오구 제거, 눈쌓임/동결 방지 등의 많은 분야에 응용되고 있다.[5, 13-17]

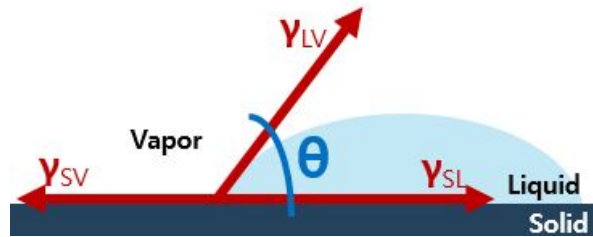


Figure 1. Surface tension on the flat surface.[18]

Table 1. Degree of wetting and contact angle [10]

Contact angle (θ)	Degree of Wetting	Streangth of	
		Solid/liquid interactions	Liquid/liquid interactions
$\Theta=0^\circ$	Perfect wetting	Stronger	Weaker
$0^\circ < \theta < 90^\circ$	High wettability	Stronger	Stronger
		Weaker	Weaker
$90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$	Low wettability	Weaker	Stronger
$\Theta=180^\circ$	Perfect non-wetting	Weaker	Stronger

이와 같은 초소수성 표면을 구현하기 위한 방법은 크게 하향식(top-bottom), 상향식(bottom-top), 혼합식(combination approaches) 3가지로 분류 된다.

하향식 방법은 템플레이트나 마스크를 사용하여 표면에 특정한 구조를 형성하는 방법으로 포토리소그래피, 플라즈마, 이온빔 처리 등이 있으며 상향식 방법으로는 화학적 반응에 의해 작은 물질이 쌓아 큰 구조물을 형성하는 방법으로 self-assembly, CVD (chemical depositon), layer-by-layer deposition, sol-gel법 등이 있다. 이 두 가지 방식을 복합적으로 사용하는 하이브리드 방식을 혼합식 방법이라고 한다. [19-23]

제 2 절. 알칼리 감량

1. 알칼리 감량 가공

알칼리 감량 가공은 PET 직물의 물리적·화학적 변화를 주기 위한 공정으로 직물의 태를 개선하고 다공성, 흡습성 등을 향상시키는 목적을 갖고 있다. 알칼리 감량 가공에 영향을 미치는 인자로는 처리온도, 시간 및 알칼리 농도가 있으며 소재에 따라 차이는 있지만 영향 인자들과 비례하여 감량률도 증가한다. 일반적으로 PET 직물의 알칼리 감량 가공은 2~20%의 수산화나트륨 수용액에 침지시켜 5~40%를 감량한다. 알칼리 감량 가공을 통해 경제적 절감, 대면적 생산, 에너지 절약 등의 효과를 얻을 수 있다.[24-25]

2. PET 가수분해 메커니즘

알칼리 조건하에서 PET는 가수분해되어 섬유 표면부터 내부로 식각(etching)되기 시작한다(Fig.2-3). 이 때, 식각은 섬유 전체 표면에서 동일하게 나타나지 않고 방사하는 과정에서 생기는 견고성 차이에 의해 weak point가 생겨 먼저 반응이 일어나게 된다. 알칼리 감량 가공에 의한 PET직물 가수분해 메커니즘을 Fig.4 로 나타냈다. PET의 가수분해 반응은 친핵체인 히드록시이온이 친전자체인 카보닐 탄소를 공격함으로써 개시되어 폴리에스터의 분자쇄를 따라 에스터 결합의 절단을 야기한다. 이는 PET 직물의 중량 감소 원인이다.

또한, 에스터 결합이 절단되면서 섬유 표면에는 히드록시기와 카복실레이트기가 도입되고 테레프탈산과 에틸렌글리콜을 생성한다. 이 때, 테레프탈산은

나트륨염이 되어 물에 용해되고 반응에서 제거된다. 가수분해된 PET직물은 표면에 히드록시기와 같은 극성기의 증가로 인해 물에 대한 젖음성이 증가하여 친수성을 갖는다.[26-27]

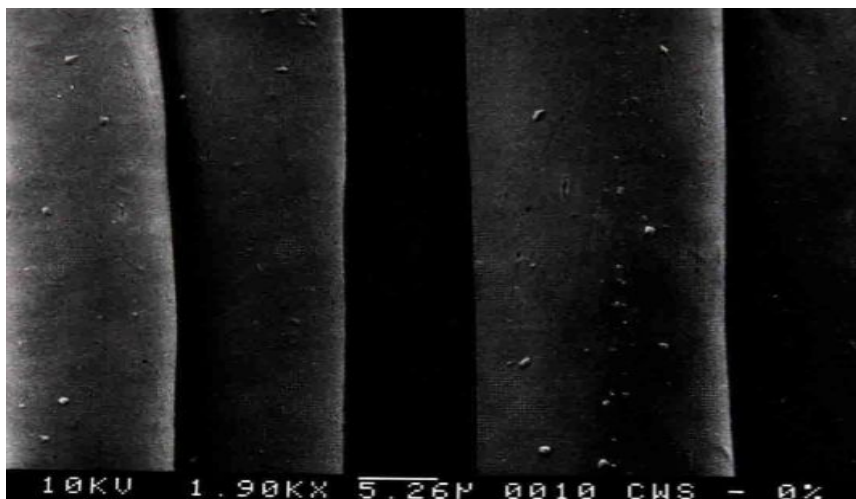


Figure 2. SEM image of PET textiles before alkaline treatment.[28]

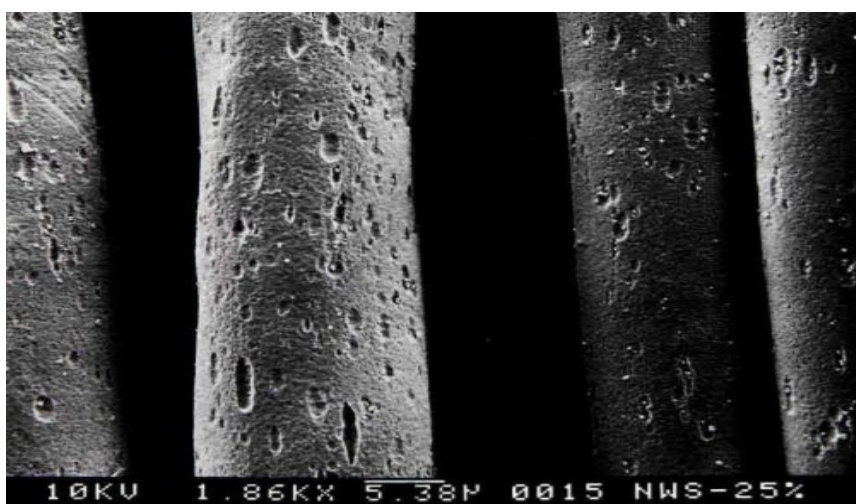


Figure 3. SEM image of PET textiles after alkaline treatment.
(10% aqueous NaOH at 60°C, weight loss=25%)[28]

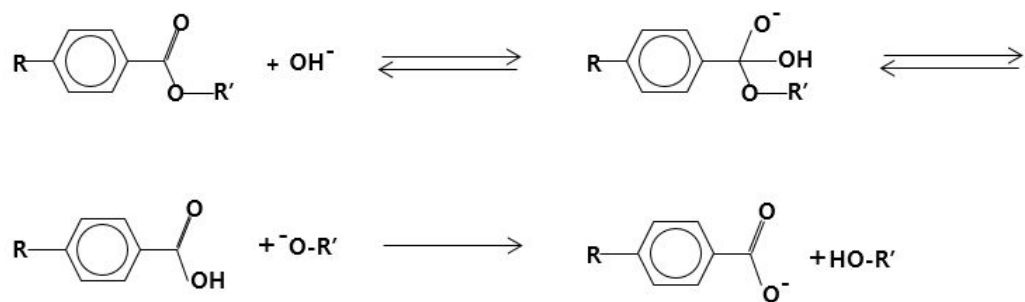


Figure 4. Mechanism of PET hydrolysis under alkaline condition.[27,29]

제 3 장. 실험

제 1 절. 시료 및 시약

본 연구에 사용 된 시료는 100% PET 직물(Dong jin textile. Co. LTD.)을 사용하였고 자세한 시료의 특성은 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Characteristics of PET fabrics

Yarn count	75d/72f+150d/144f DTY
Weight (g/m ²)	108.0
Thickness (mm)	0.21
Fabric density (in inch)	144 × 80

시약은 N,N-Dimethylformamide (extra pure), 60%-Sodium dodecylbenzenesulfonate (chemical pure)은 Daejung chemicals & metals. Co. LTD., Triton X-100 (laboratory grade), Poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene), 1H, 1H, 2H, 2H-Perfluorodecyltriethoxysilane 97%은 Sigma aldrich, Sodium hydroxide (guaranteed reagent), Sodium carbonate는 준세이화학주식회사 시약을 구매하여 사용하였다.

제 2 절. 실험 방법

1. 정련

시료는 PET 직물을 2.5cm × 5cm의 크기로 잘라 준비하여 정련하였다. 60% -Sodium dodecylbenzenesulfonate 5g/L, Sodium carbonate 5g/L를 넣은 호발 정련액을 만든 후 PET 직물을 정련 용액에 넣고 90℃에서 1시간 동안 교반하였다. 정련한 PET 직물은 증류수로 세척한 후 상온에서 건조하였다.

2.2 알칼리 감량

알칼리 감량 가공 용액으로 380g/L의 수산화나트륨 수용액을 제조하였다. 만들어진 수용액에 시료를 각각 5분, 10분, 15분, 20분 동안 침지시킨 후 증류수를 이용하여 pH7에 도달할 때까지 충분히 행구어 건조시켰다.[30]

2.3 소수화 처리

소수화 용액은 50ml DMF에 1g PVDF-HFP와 0.5ml FAS를 넣고 1시간 동안 교반하여 준비하였다. 소수화 용액에 알칼리 감량 시료를 3분 동안 Dip-coating 한 후, 135℃에서 10분 동안 건조시켰다.[31]

실험 과정 2.2와 2.3을 Fig.5에 나타내었고 실험 조건에 따른 시료명을 table 3에 나타내었다.

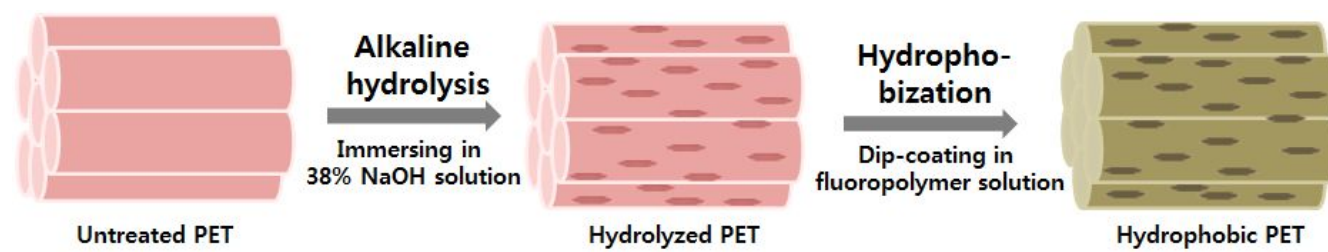


Figure 5. Scheme of the experimental process.

Table 3. Specimen codes of various treatments

	Code	Treatment
Untreated sample	untreated	untreated PET
	F	untreated PET + hydrophobization
Treated sample	5E	5min alkaline hydrolyzed PET
	10E	10min alkaline hydrolyzed PET
	15E	15min alkaline hydrolyzed PET
	20E	20min alkaline hydrolyzed PET
	5E+F	5min alkaline hydrolyzed PET + hydrophobization
	10E+F	10min alkaline hydrolyzed PET + hydrophobization
	15E+F	15min alkaline hydrolyzed PET + hydrophobization
	20E+F	20min alkaline hydrolyzed PET + hydrophobization

제 3 절. 시료 특성 평가 및 분석

1. 물리적 특성

1.1 표면 형태

알칼리 감량 처리된 직물은 전계 방출 주사 전자 현미경(Field-emission scanning electron microscope, FE-SEM, JSM-7600F, JEOL, Germany)을 이용하여 표면 형태 변화를 관찰하였다.

1.2 표면의 화학 조성

소수화 처리 전/후 직물을 에너지 분산 X-선 분석 장치(Energy dispersive X-ray analysis, EDX, Aztec, oxford instruments, UK)를 통해 소수화 처리로 인한 표면의 화학 조성 변화를 분석하였다.

1.3 직물 두께 및 무게

직물 두께는 직물 두께 게이지(ID-C112, Mitutoyo corp, Japan)를 사용하였고 모든 시료는 3회 반복 측정되었다. 직물 무게는 알칼리 감량 처리 전/후 시료의 무게를 3회 반복 측정하였으며 무게 변화에 따라 감량률을 계산하였다.

$$\text{감량률} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\%$$

W_1 : 알칼리 감량 처리 전 시료 무게

W_2 : 알칼리 감량 처리 후 시료 무게

1.4 섬유 직경

전계 방출 주사 전자 현미경(Field-emission scanning electron microscope, FE-SEM, JSM-7600F, JEOL, Germany)을 이용하여 표면 형태 관찰 시, 섬유 직경을 함께 측정하였다. 한 시료에서 다른 부분 5곳을 측정하여 평균값을 산출하였다.

1.5 인장 강도

ASTM D 5035 스트립법에 의거하여 만능재료시험기(Universal testing machine, INSTRON-5543, Instron, USA)를 사용하였다. 시료의 크기는 폭 2.5cm, 길이 15cm이며 알칼리 감량 처리에 따른 강도 변화를 보기 위해 감량 처리 전/후의 시료를 경사 방향으로 측정하였다. 모든 시료는 각 조건마다 다섯 개의 샘플을 측정하여 후 평균값을 구하였다.

2. 표면 젖음성

2.1 정적접촉각

정적접촉각은 접촉각 측정 장비(Theta lite optical tensiometer, KSC Instruments, Finland)를 이용하였다.(Fig.6) 슬라이드글라스 위에 시편을 고정시키고 3.5 μ l의 물방울을 적하시켜 1초가 지난 후에 정적접촉각을 측정하였다. 모든 시료는 각기 다른 다섯 부위를 측정하여 평균하였다.

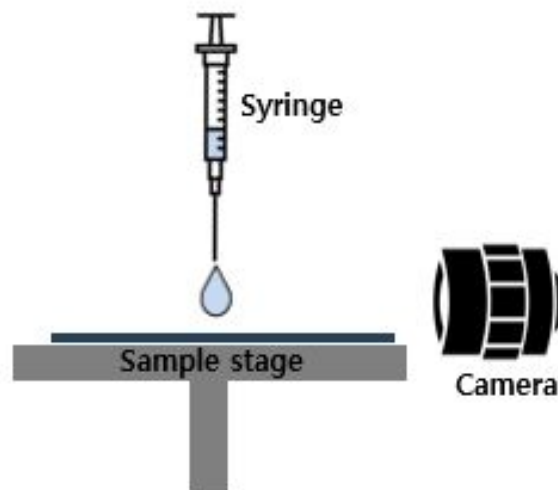


Figure 6. Contact angle measurement.

2.2 Shedding angle

Shedding angle은 12.5 μ l와 35 μ l 크기의 물방울을 떨어뜨렸으며 샘플 받침대가 장착된 접촉각 측정 장비(Theta lite optical tensiometer, KSC Instruments, Finland)를 이용하였다.(Fig.7) 미리 기울여 놓은 샘플 받침대에 시료를 고정시키고 시료로부터 1cm 떨어진 높이에서 물방울을 떨어뜨렸을 때, 물방울이 2cm 이상 굴러가는 최소 기울기각을 측정하였다.[32]

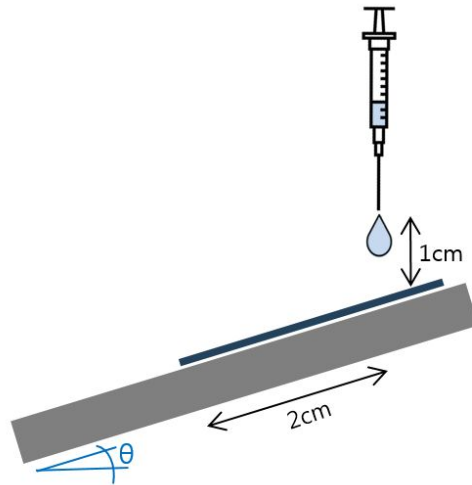


Figure 7. Shedding angle measurement.

3. 투과 성능

3.1 투습도

직물의 투습성은 KS K 0594:2008을 참고하여 워터법으로 진행하였다.[33]
측정 시료는 untreated, F, 15E, 15E+F의 4종류를 준비하였고 투습도 측정에
앞서 모든 시료를 실험실 표준상태(온도: 20±2℃, 상대 습도:65±4%)에서 24시
간 동안 컨디셔닝시켰다.

컨디셔닝시킨 시료는 온도 40±2℃, 상대 습도 50±5%으로 설정된 조건에서 평
가 되었으며 모든 시료는 3회 반복 측정했다. 값은 소수점 이하 첫째 자리까
지 구하여 다음 식을 통해 평균값을 산출하였다.

$$P = \frac{10 \times (a_1 - a_2)}{S}$$

P : 투습도(g/m²·h)

a₁-a₂: 1시간 처리 후 시험편의 무게 변화(mg/h)

S : 투습 면적(cm²)

3.2 공기투과도

직물의 공기투과도는 ASTM D 737-75 프라지어법에 참고하였고 시료의 수직 방향으로 일정 압력을 갖는 공기를 투과시켜 공기 흐름을 측정하였다.[34] 측정 시료로는 38.3cm^2 의 면적크기를 갖는 untreated, F, 15E, 15E+F의 4종류를 이용하였고 측정에 앞서 온도 $20\pm 2^\circ\text{C}$, 상대 습도 $65\pm 4\%$ 에서 24시간 동안 컨디셔닝시켰다. 시료에 가해지는 공기압은 125Pa로 하였으며 모든 시료는 각각 다른 샘플로 5회 측정하여 평균하였다.

제 4 장. 결과 및 고찰

제 1 절. 물리적 특성

1. 표면 형태

알칼리 감량 처리 시간에 따른 PET 직물의 표면 형태를 관찰한 것으로 알칼리 감량 처리에 따른 PET 직물의 변화는 Fig.8과 Fig.9, 소수화 처리 후 PET 직물의 변화는 Fig.10을 통해 나타냈다.

매끈한 표면이었던 untreated가 알칼리 감량 처리 시간이 증가할수록 표면 식각이 심해지면서 더 많은 요철을 형성하였고 표면 거칠기가 증가함을 확인하였다. 이와 같은 알칼리 가수분해에 의한 요철 형성은 섬유 표면 중 수산화이온이 공격하기 쉬운 비결정 부분이 먼저 용해되고 점차 결정 부분과 섬유 내부로 진행되면서 나타난다.[35-36] 따라서, 알칼리 용액에 노출되는 시간이 길어질수록 섬유가 수산화 이온에 의해 공격당하는 시간이 증가하기 때문에 많은 요철을 형성하므로 20E, 15E, 10E, 5E, untreated 순으로 표면 위에 요철이 많이 생겼다.

섬유간의 공간 변화도 확인하였다. untreated의 경우, 이웃하는 섬유와 접촉을 하여 뽁뽁하게 밀집하고 있었으나 알칼리 감량 처리 시간이 증가할수록 PET 섬유의 표면이 용해되어 섬유 직경이 감소하였다. 이는 섬유간의 공간을 확장시켰고 본 연구에서는 20E, 15E, 10E, 5E, untreated 순으로 넓은 섬유 공간을 갖고 있음을 확인하였다. 또한, 섬유 간극이 넓어짐에 따라 인접했던 섬유와의 마찰이 감소하고 실들의 자유도가 증가하였음을 관찰하였으며 촉감을 통해 직물의 유연성 증가를 확인하였다.

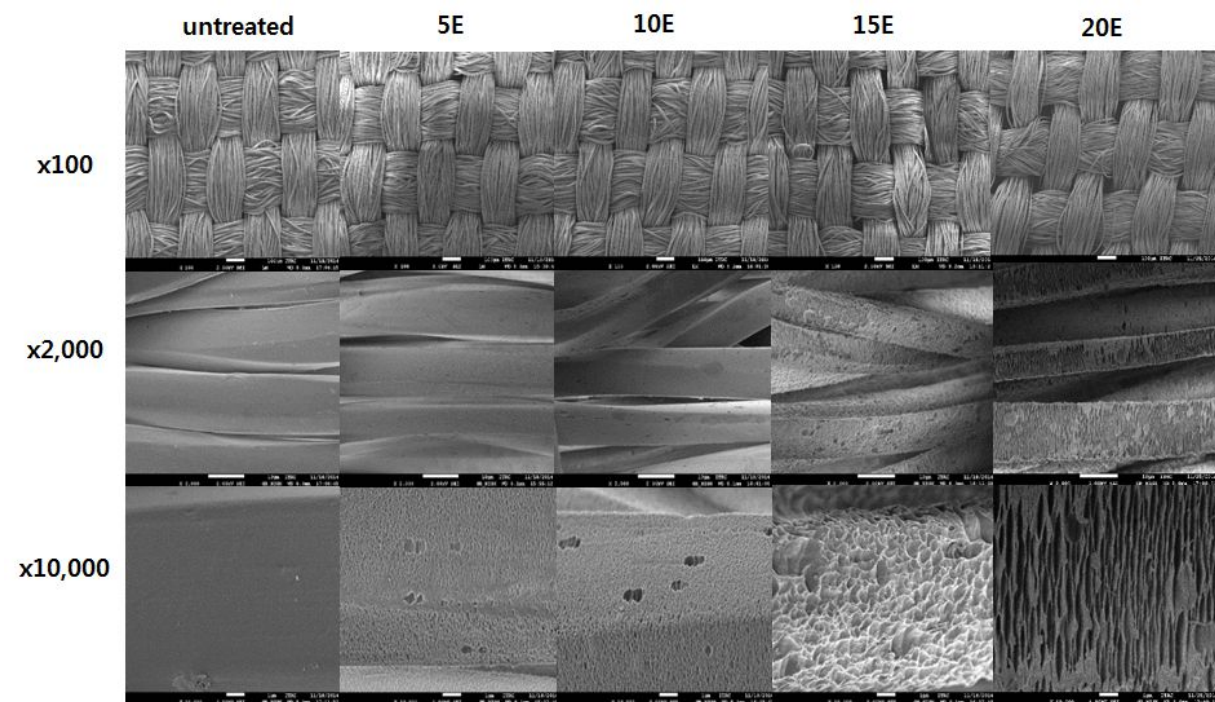


Figure 8. SEM images of hydrolyzed PET under different alkaline hydrolysis time.

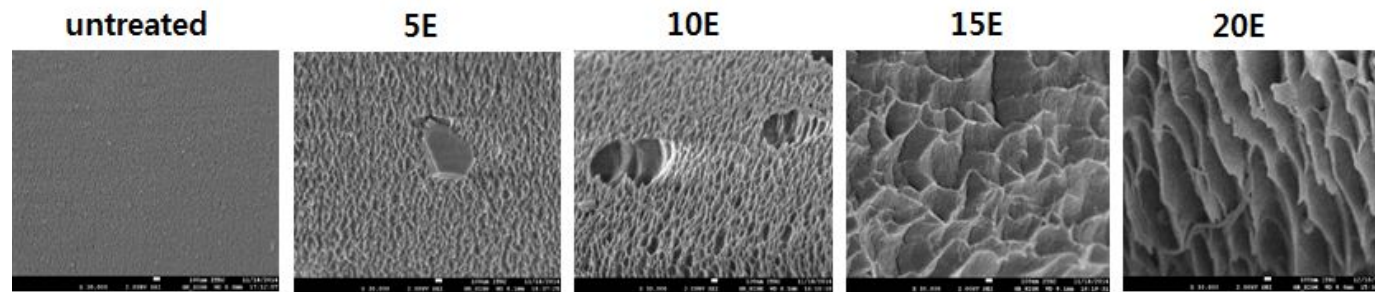


Figure 9. High-resolution SEM images for PET under different alkaline hydrolysis time.($\times 30,000$)

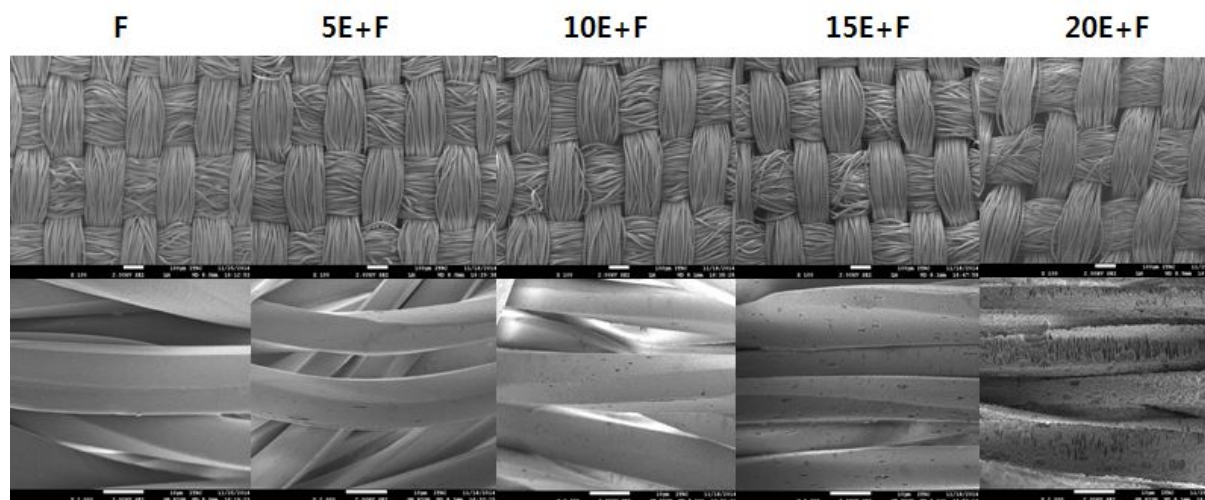


Figure 10. SEM images of hydrolyzed PET after hydrophobization.

2. 표면 화학조성

시료를 소수화 처리한 후, EDX를 통해 식물 표면의 화학조성을 분석하여 식물의 소수화가 이루어졌는지 확인하였다. 소수화를 확인하기 위해 같은 시간동안 알칼리 감량 처리한 15E와 15E+F를 비교·분석하였고 그 결과는 Fig.11에 나타내었다.

소수화 처리 전 시료인 15E의 경우 식물의 주성분인 C-peak, O-peak만을 나타내었으나 소수화 처리 후 시료인 15E+F에서는 식물 성분을 나타내는 C-peak, O-peak 이외에도 발수 성분을 구현해 주는 F-peak가 나타났다. 이를 통해 알칼리 감량 식물 위에 플루오르를 통한 소수화 처리가 이루어졌음을 확인하였다.

또한, Fig.12를 통해 시료 표면의 화학 조성 분포를 이미지화 한 것으로 알칼리 감량 처리만 했을 경우에는 untreated와 표면의 화학 조성 차이가 크게 없었고 주성분인 C와 O가 섬유 전반에 분포되어 있음을 확인했다. 소수화 처리 후에는 C와 O이외에도 F 성분이 표면에 존재하며 섬유 전반에 균일하게 분포되어 있음을 관찰하였다.

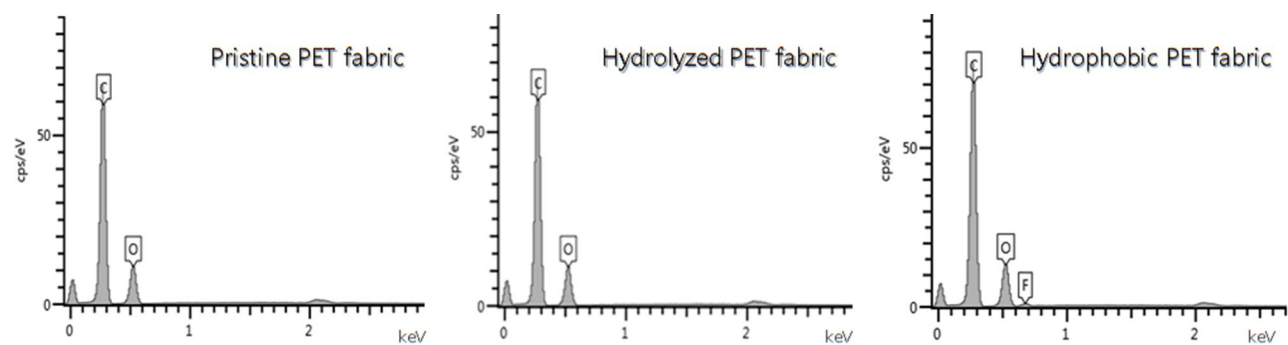


Figure 11. EDX analysis for the 15min hydrolyzed PET fabric before and after hydrophobization treatment.

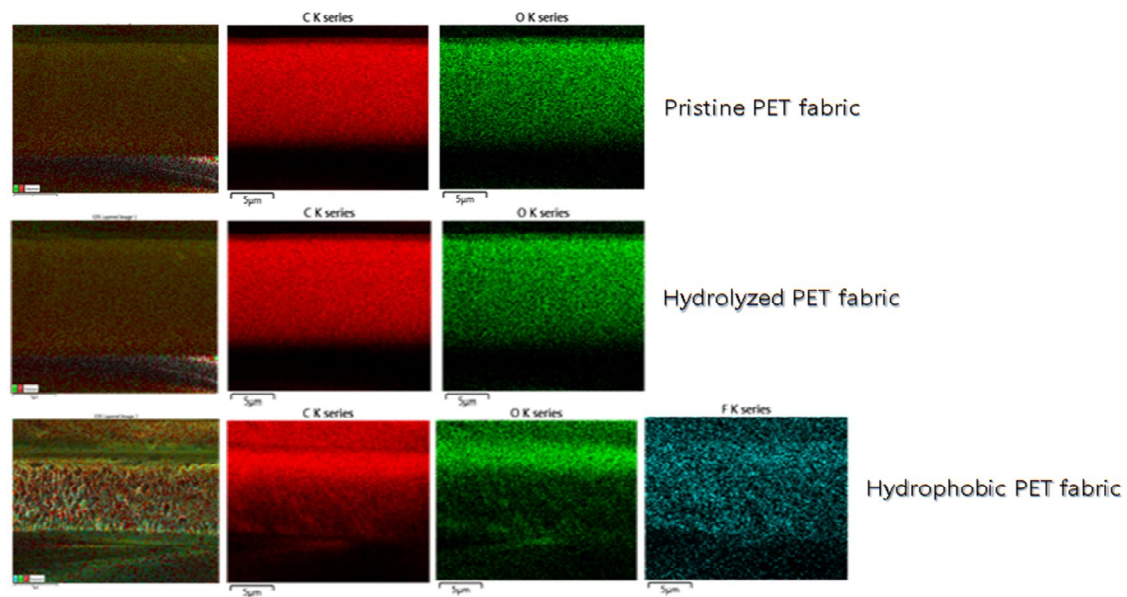


Figure 12. EDX images of chemical composite distribution of 15min hydrolyzed PET fabrics before and after hydrophobization treatment.

3. 식물 두께, 무게 및 섬유 직경

알칼리 감량 처리에 따른 식물의 두께, 무게 및 섬유 직경의 변화를 살펴본다.

알칼리 감량 처리 시간의 증가에 따라 식물 무게는 untreated가 0.135 ± 0.003 g, 20E가 0.045 ± 0.003 g으로 약 66.7% 감소하였다. 식물의 두께 및 섬유 직경도 감소하였는데 식물 두께의 경우, untreated가 0.204 ± 0.002 mm, 20E가 0.137 ± 0.001 로 약 32.8% 감소하였고 섬유 직경의 경우, untreated가 $12.95 \pm 3.28 \mu\text{m}$, 20E가 $8.56 \pm 0.93 \mu\text{m}$ 으로 약 $4 \mu\text{m}$ 감소하였으며 그 밖의 시료 데이터는 Fig.13와 Fig. 14에 나타냈다.

알칼리 감량 처리 시간이 길어질수록 식물의 무게, 두께 및 섬유 직경이 전반적으로 감소하는 경향을 보인다. 무게 감소 경향은 PET식물이 알칼리 용액에 노출되었을 때, 수산화 이온이 에스터 결합의 카보닐 카본을 공격하여 PET 체인 절단 현상에 의해 분해되며 중량이 감소되는 것이다.[35-37]

Fig.13을 보면 10분 알칼리 감량 처리 시간을 기준으로 하여 10분미만의 범위에서는 식물의 감량률이 작지만 15분이 되면서 급격히 감량률이 커지는 것을 확인 할 수 있는데 이것은 알칼리 처리 시간이 길어질수록 섬유 표면의 비표면적이 커지기 때문에 수산화 이온과 반응 면적이 더 넓어져 쉽게 알칼리 용액을 섬유 내부로 확산 시킬 수 있다. 이에 따라, 처리시간이 길수록 감량속도가 빨라지는 것으로 생각된다.

두께 및 섬유 직경의 경우에는 알칼리 가수분해가 일어남에 따라 섬유 표면이 식각되기 때문에 점점 노출시간이 길어지면 식각되어 제거되는 섬유량이 많아진다. 따라서 알칼리 처리 시간이 길어질수록 섬유의 두께 및 직경은 점점 감소하는 경향을 보인다.

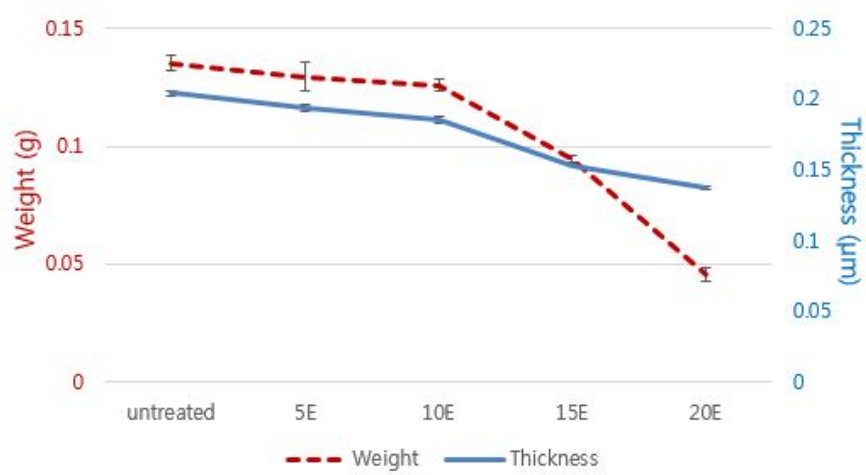


Figure 13. Weight and thickness for hydrolyzed PET.

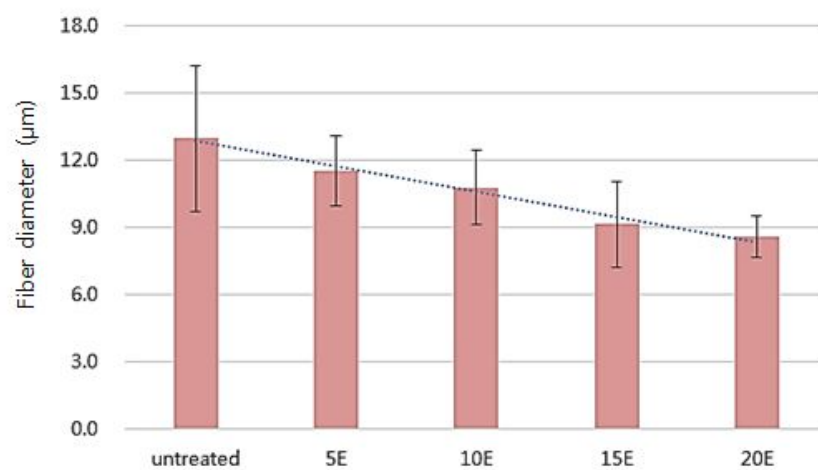


Figure 14. Fiber diameters for different alkaline conditions.

4. 인장강도

알칼리 감량 처리 시간에 따른 직물의 인장강도 변화를 비교·분석 하였다. 섬유 표면 위에 형성된 요철과 섬유의 직경은 인장강도에 영향을 미칠 것으로 기대되었다. 따라서 알칼리 감량 처리 시간 변화에 의한 인장강도를 측정하였고 그 결과는 Fig.15에 나타난 바와 같다. 알칼리 감량 처리 시간이 증가할수록 인장강도가 감소하는 경향을 보였다.

일정 스트레스 하에서 섬유를 신장시키면 weak point부터 파단이 일어나게 된다. Untreated의 경우, 섬유 방사하는 과정에서 발생하는 견고성의 차이로 인해 weak point가 결정된다. 이러한 weak point가 생기는 이유는 섬유 가공 공정에서 자체적으로 발생하는 결함 또는 연신공정에 의한 섬유 내부 결정의 배향도에 따른 차이로부터 기인한다.[38-39]

그러나 알칼리 감량 처리 시료의 경우, 알칼리 용액에 노출로 인해 생긴 요철이 weak point의 역할을 하기 때문에 감량 정도가 클수록 섬유 표면 위의 요철이 많이 형성되어 먼저 절단되게 된다. 또한, 알칼리 처리로 인해 섬유의 직경이 가늘어지면 섬유의 단면적당 가해지는 하중이 커지기 때문에 상대적으로 쉽게 끊어지는 것으로 생각된다(Fig.16). 본 연구에서도 오랜 알칼리 감량 처리 시간으로 인해 알칼리 용액에 노출이 가장 많이 되었던 20E가 가장 작은 인장강도를 보였다.

반면, 소수화 처리 후에는 인장강도의 감소가 크게 나타나지 않았다.

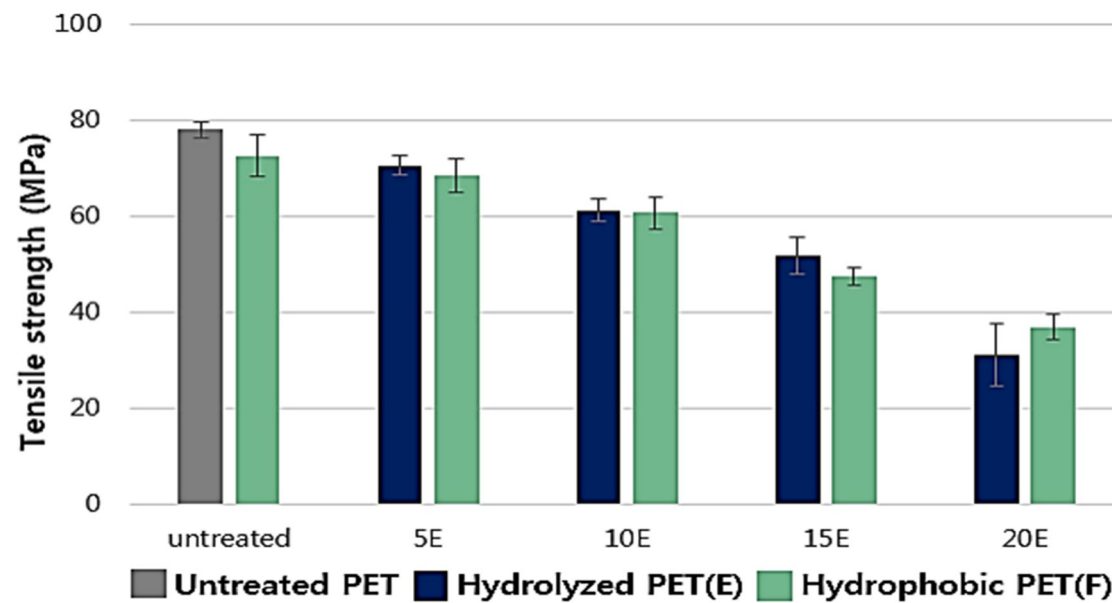


Figure 15. Tensile strength of hydrolyzed PET fabrics and hydrophobic PET fabrics under various conditions.

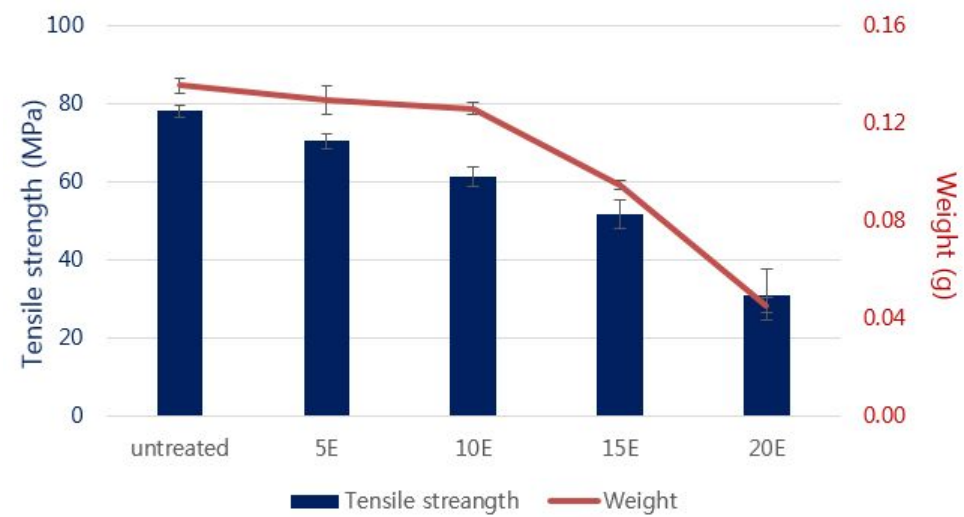


Figure 16. Tensile strength and weight for different alkaline hydrolysis time.

제 2 절. 젖음성

1. 정적접촉각

알칼리 감량 처리 후, 소수화를 시킨 시료들의 정적접촉각 결과를 아래의 Fig.17과 Table4에 정리했다. untreated의 경우, $119.7 \pm 3.73^\circ$ 의 정적접촉각을 보였으며 물방울을 시료에 떨어뜨렸을 때 상대적으로 반원의 형태를 보였다. 시료 위에 퍼졌지만 일정 수준의 접촉각을 갖는 이유는 섬유 자체에 표면 거칠기가 없어도 시료가 DTY이기 때문에 직물 자체의 마이크로 수준의 거칠기를 가지고 있기 때문이다. untreated 위에 소수화 처리를 해 준 F의 정적접촉각은 $131.3 \pm 0.3^\circ$ 로 untreated보다 약 10° 증가하였다. 이를 통해, 직물의 yarn과 fiber에 의한 마이크로 수준의 거칠기만 존재할 때 소수화 처리로 10° 이상의 정적접촉각이 증가함을 알 수 있었다.

그러나, untreated와 마찬가지로 섬유 표면에 나노 스케일의 요철 형성이 되지 않은 매끈한 형태이므로 초소수성을 만족하는 150° 이상의 접촉각을 얻기는 어려웠다. 이를 통해, 초소수성의 조건인 낮은 표면 에너지와 표면 거칠기 중 한 조건의 제어를 통해서만 구현이 어려움을 확인하였다.

알칼리 감량 처리만 한 시료 위에 물방울을 떨어뜨렸을 때, 섬유 표면이 물방울에 의해 완전히 젖기까지 걸리는 시간은 20E, 10E, 15E, 5E 순으로 증가하였다. 알칼리 감량 처리시간이 증가할수록 직물의 젖는 시간이 감소한 이유는 알칼리 가수분해 시 생성되는 친수기 및 표면 거칠기 정도와 관계가 있다.

알칼리 감량 가공 시 알칼리 가수분해 된 PET 직물 위에는 친수기가 생성되고 섬유 위에 나노 스케일의 요철이 형성되어 표면적이 증가한다.[40] 이것은 PET 섬유 위에 물방울과의 친화성이 우수한 극성기를 갖는 표면적의 증가를

의미하는 것으로 물방울과의 반응성이 큰 표면을 많이 갖는 20E이 가장 빠르게 젖었다.[41]

알칼리 감량 후 소수화 처리를 한 5E+F, 10E+F, 15E+F, 20E+F는 각각 $140.4 \pm 0.6^\circ$, $152.5 \pm 0.4^\circ$, $162.2 \pm 2.7^\circ$, $167.8 \pm 1.3^\circ$ 의 정적접촉각을 가지며 알칼리 감량 처리 시간이 증가함에 따라 정적접촉각이 증가하였다.

이것은 감량 시간이 길어짐에 따라서 섬유 표면 위에 나노 스케일의 많은 요철이 형성되어 표면 거칠기가 커졌기 때문인데 섬유의 표면 거칠기가 커짐에 따라 시료와 물방울 간의 접촉 면적이 감소하게 되어 상대적으로 좀 더 구형에 가까운 물방울 형태를 보였다.[42]

이와 같은 이유로 섬유 표면 위에 가장 많은 요철이 형성되어 가장 큰 표면 거칠기를 갖는 20E+F가 구형에 가까운 물방울 형태를 보이고 가장 큰 정적접촉각을 갖는다. 이를 Fig.17에 나타냈고 초소수성 조건의 정적접촉각을 만족하는 시료는 10E+F, 15E+F, 20E+F이다.

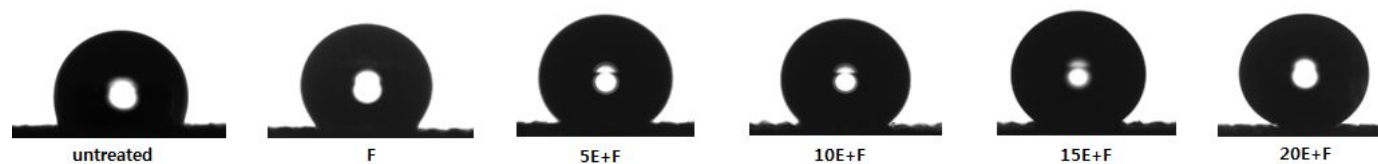


Figure 17. Images of contact angle for different hydrophobic PET fabrics.

Table 4. Contact angle value of samples after hydrophobization treatment

Sample	CA(°)	Sample	CA(°)
Untreated	119.7 ±3.73	10E+F	152.5±0.4
F	131.3±0.3	15E+F	162.2±2.7
5E+F	140.4±0.6	20E+F	167.8±1.3

2. Shedding angle

시료의 물방울에 대한 roll-off 능력을 알아보기 위해 shedding angle를 측정하였으며 이 때, 액적 크기에 따른 shedding angle의 영향을 보기 위해 12.5 μl 와 35 μl 의 물방울을 가지고 실험을 진행하였다. 본 연구에서는 모든 시료에 대해 같은 고분자 용액으로 동일한 표면에너지를 갖도록 처리해 주었다.

이와 같이 동일한 표면에너지를 갖는 경우 shedding angle에 가장 큰 영향을 미치는 영향 요인은 표면거칠기이다.[43-44] 섬유 표면 거칠기가 증가하면 시료와 물방울의 접촉 면적이 감소하기 때문에 상대적으로 서로 작용하는 인력이 작아 쉽게 굴러 떨어진다. 알칼리 감량 가공 처리에 따라 섬유 표면거칠기가 갖는 shedding angle을 Fig.18과 Table5에 정리하였다.

untreated와 F의 경우, shedding angle이 90°이상으로 측정이 불가하였다. 이는 untreated와 F는 표면거칠기가 없는 매끈한 표면을 가지고 있기 때문에 같은 표면에너지 조건하에서 표면거칠기가 존재하는 다른 시료들보다 상대적으로 물방울과의 접촉이 많아 roll-off가 어려웠다.

반면, 알칼리 감량 가공 처리에 의해 섬유 표면 위에 요철이 형성된 5E+F, 10F+F, 15E+F, 20E+F는 표면거칠기가 증가하여 일정 수준의 기울기를 가해주면 물방울을 떨어뜨렸을 때, roll-off 현상을 보였다. 위의 시료들은 각각 12.5 μl 크기의 액적의 경우, 20.0 \pm 0.5°, 13.0 \pm 1.0°, 8.8 \pm 0.2°, 4.4 \pm 2.3°의 shedding angle을 보였고 35 μl 크기의 액적의 경우, 16.2 \pm 0.6°, 12.8 \pm 0.3°, 5.1 \pm 0.5°, 2.3 \pm 1.0°의 shedding angle을 나타냈다.

알칼리 감량 가공 처리 시간이 증가함에 따라 더 많은 요철이 형성되었음을 Fig.8과 Fig.9를 통해 확인할 수 있다. 표면 위의 요철들은 그 안에 air pocket을 형성하고 이로 인해 물방울이 Cassie-Baxter state가 되어 시료와 물방울

의 접촉 면적이 감소하게 된다.[42] 따라서, 알칼리 감량 처리 시간이 길수록 더 많은 요철이 생겨 상대적으로 더 많은 air pocket을 갖기 때문에 낮은 기울기각에서도 쉽게 roll-off되는 것을 확인하였다. 또한, 액적의 크기가 큰 경우 액적의 크기가 작은 경우보다 더 낮은 기울기각에서 roll-off가 일어났는데 이것은 상대적으로 중력의 영향을 더 받기 때문이다. 이 때, 초소수성 조건을 만족하는 shedding angle을 갖는 시료는 15E+F, 20E+F이나 20E+F는 무게 감소와 인장강도 감소가 지나치게 크므로 실용적인 인장강도를 가지면서 초소수성을 나타내는 15E+F가 가장 최적의 조건으로 보인다.

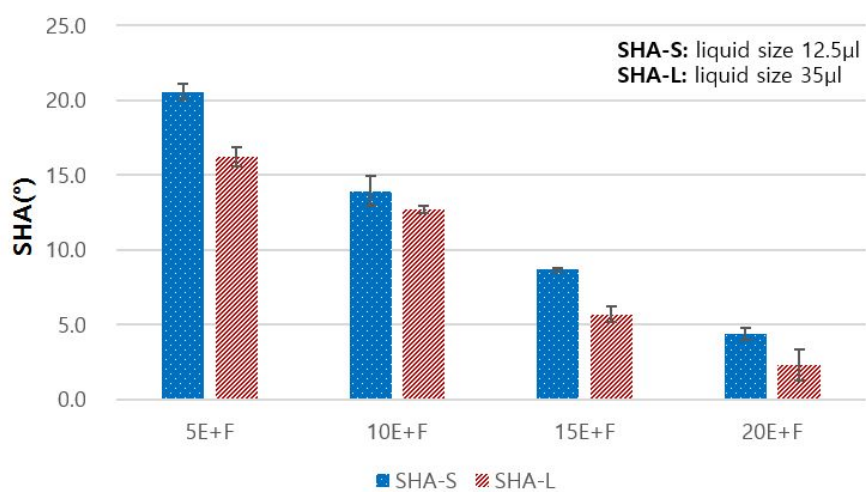


Figure 18. Shedding angle measurement for hydrophobic samples.

Table 5. Shedding angle value for hydrophobic samples

Sample	SHA-S(°)	SHA-L(°)
untreated	> 90	> 90
F	> 90	> 90
5E+F	20.0±0.5	16.2±0.6
10E+F	13.0±1.0	12.8±0.3
15E+F	8.8±0.2	5.1±0.5
20E+F	4.4±2.3	2.3±1.0

제 3 절. 투과 성능

1. 투습도

의복 쾌적성의 경우, 알칼리 감량 미처리 시료인 untreated, F와 최적 조건으로 도출된 15E, 15E+F에 대해 평가를 진행하였고 각 시료의 투습성은 Fig.19에 나타냈다.

알칼리 감량 처리를 한 시료는 untreated에 비해 PET의 알칼리 가수분해로 인해 섬유 직경이 감소함에 따라 섬유간의 공간이 넓어져 더 많은 기공이 형성되었다. 넓어진 기공을 통해 상대적으로 더 많은 양의 수분을 투과 시킬 수 있었다. 또한, 알칼리 감량 처리 후 섬유 표면에 친수기의 도입으로 인해 투습이 untreated보다 원활하게 일어났다.

반면, F, 15E+F가 15E, untreated보다 투습도가 낮은 이유는 불소계 고분자 코팅에 의한 직물의 소수화로 인해 수분과의 친화력이 작아져 상대적으로 낮은 투습도를 보인다. 따라서 소수화된 시료가 소수화 미처리 시료보다 낮은 투습도를 보였다고 사료되며 오차 범위 내의 차이를 보였다.

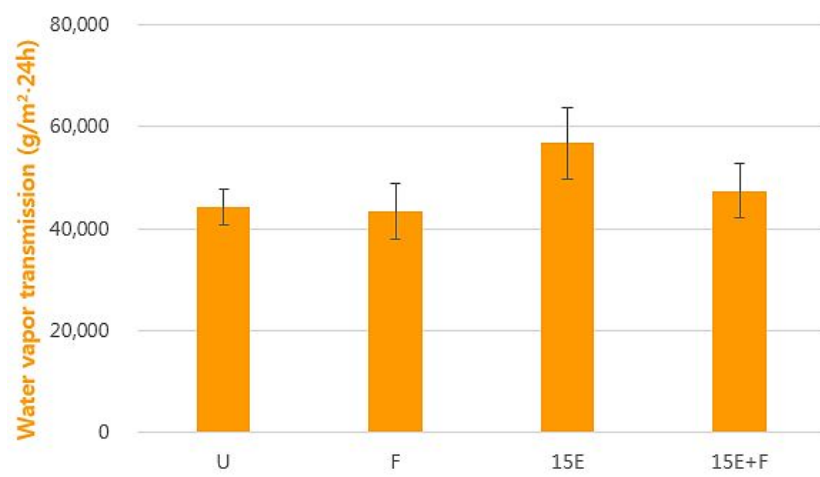


Figure 19. Water vapor transmission of specimens

2. 공기투과도

의류소재로서 쾌적성을 평가하기 위해 untreated, F, 15E, 15E+F의 공기 투과도를 비교·분석하였다.

직물의 공기 투과도는 직물의 구조, 두께, 표면 등 많은 특성이 영향을 미친다. [45-46] 특히, 직물의 구조가 공기 투과도와 밀접한 관계를 갖는데 그 이유는 직물 구조에 따라 직물에서 공기가 차지할 수 있는 비율이 달라지기 때문이다.

untreated와 15E를 비교하였을 때, 15E의 경우가 훨씬 높은 공기투과도 값을 보였다. 이는 알칼리 감량으로 섬유가 가늘어지지만 밀도는 유지하기 때문이다.

반면, 15E의 경우에는 알칼리 감량 처리에 의해 섬유의 직경이 감소하였기 때문에 섬유간의 공간이 넓어져 공기의 이동통로가 확장되었으며 기공 확장에 의한 변화는 Fig.20을 통해 확인 할 수 있다. 불소계 고분자로 소수화 처리된 시료의 경우, 소수화 미처리 시료의 공기투과도와 차이가 명확하지 않았다. 이는 불소계 고분자로 처리했으나 섬유 사이의 공간이 유지가 되어 기공에 큰 변화가 없기 때문으로 생각된다.

이와 같은 이유로 일정한 직물 밀도 안에서 알칼리 감량 가공 처리에 의해 더 넓은 기공을 갖는 15E가 높은 공기 투과도를 보였고 Fig.21과 Fig.22에 나타내었다.

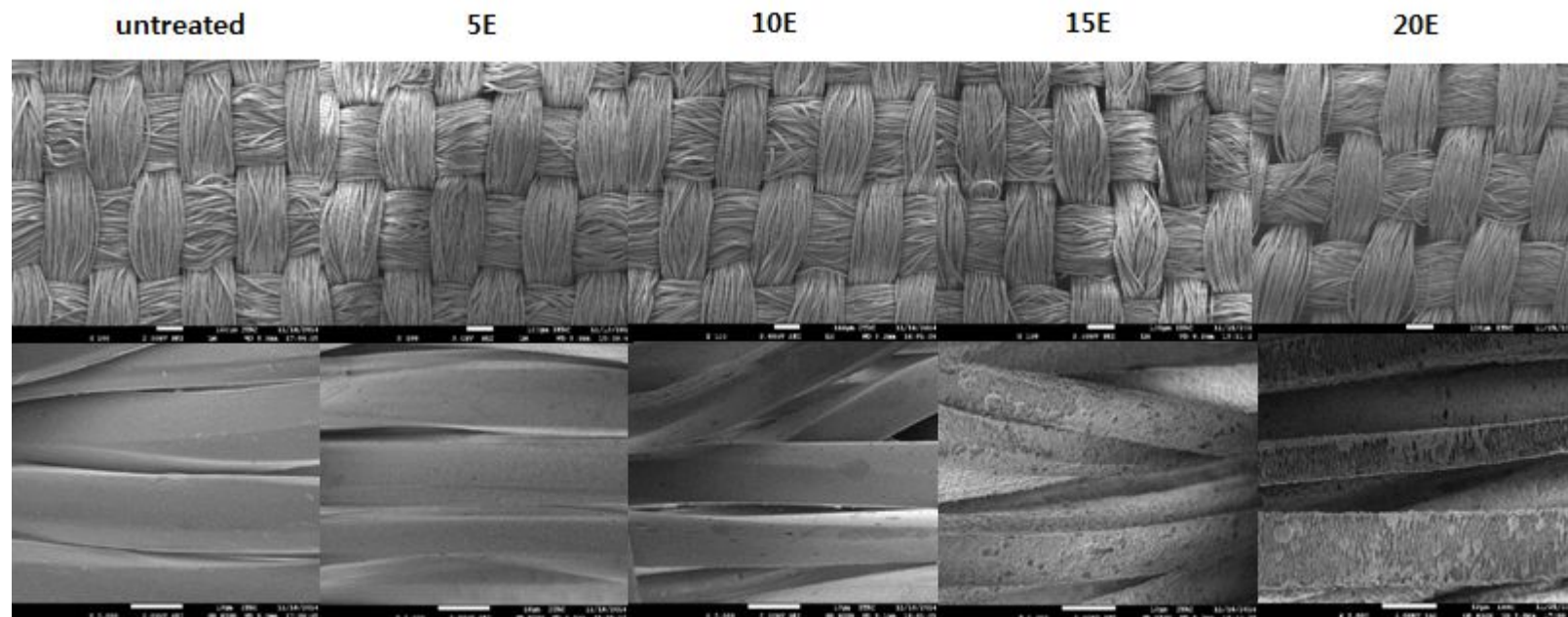


Figure 20. Change for space between fibers.

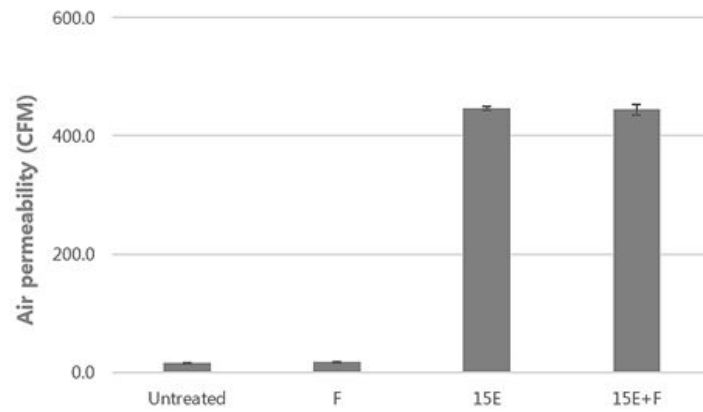


Figure 21. Air permeability of samples.

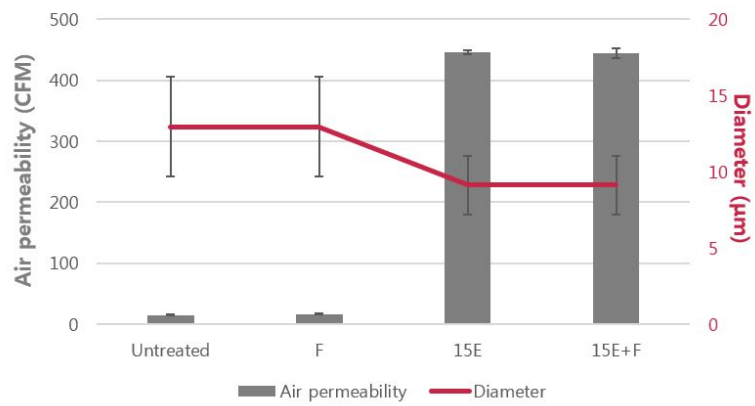


Figure 22. Correlation between air permeability and diameter.

제 5 장. 요약 및 결론

본 연구에서는 알칼리 감량에 의한 섬유 표면의 거칠기의 변화를 이용하여 초소수성 직물을 개발하기 위해 알칼리 감량 처리 시간을 달리하여 직물의 물리적 변화, 표면 거칠기에 따른 젖음성 및 투습성 평가를 비교·분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 알칼리 감량 처리 시간이 증가할수록 가수분해에 의한 PET 분자쇄 절단 현상이 증가함에 따라 20E의 섬유 직경이 $8.56\mu\text{m}$ 까지 감소하였다. 섬유 직경이 감소함에 따라 직물 무게 0.045g , 직물 두께 0.137mm 로 감소하였다.

2. 인장 강도 측정 결과, 알칼리 감량 처리 시간이 증가할수록 인장 강도가 감소하였다. 20분 알칼리 감량 처리 직물의 인장 강도는 약 60% 감소하였다. 반면, 소수화 처리 전, 후의 인장 강도의 차이는 명확하게 구분 되지 않았다.

3. 정적접촉각을 평가한 결과, 알칼리 감량 처리 시간이 오래될수록 정적접촉각 증가하였다. 20E+F가 $167.8\pm 1.3^\circ$ 로 가장 높은 정적접촉각을 보였으며 초소수성의 조건인 150° 이상의 정적접촉각을 만족하는 시료는 10E+F, 15E+F, 20E+F였다.

4. Shedding angle은 알칼리 감량 처리 시간이 증가할수록 더 작은 shedding angle을 가졌는데 untreated와 F의 경우, shedding angle이 90°

이상으로 측정이 불가능하였다. $12.5\mu\text{l}$ 크기의 액적의 경우, $20.0\pm0.5^\circ$, $13.0\pm1.0^\circ$, $8.8\pm0.2^\circ$, $4.4\pm2.3^\circ$ 의 shedding angle을 보였고 $35\mu\text{l}$ 크기의 액적의 경우, $16.2\pm0.6^\circ$, $12.8\pm0.3^\circ$, $5.1\pm0.5^\circ$, $2.3\pm1.0^\circ$ 로 $12.5\mu\text{l}$ 보다 더 작은 shedding angle을 보였다. 이 때, 각각의 조건에서 초소수성 구현 조건을 만족하는 시료는 15E+F, 20E+F였다.

5. 투습도 평가 결과, 알칼리 감량 처리에 의해 직물의 투습성이 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 소수화 처리는 투습도를 저하시켰다.

6. 공기투과도 확인 결과, untreated, F시료보다 알칼리 감량 처리 시료인 15E, 15E+F가 더 높은 공기투과도를 보였으며 소수화 처리는 공기투과도변화에 큰 영향을 미치지 않았다.

7. 20E+F의 조건에서 가장 우수한 초소수성 표면을 구현할 수 있었지만 인장 강도, 직물의 무게 및 두께 등을 함께 고려하였을 때, 15E+F를 최적 조건으로 선정하였다.

본 연구에서는 초소수성 구현 시, 낮은 표면 에너지와 표면 거칠기의 적절한 제어가 중요하다는 것을 확인하였고 표면 거칠기가 커질수록 우수한 초소수성을 갖는다는 것을 확인하였다. 또한, 범용적으로 사용하는 알칼리 감량 가공을 이용해 초소수성 표면을 구현함으로써 비교적 간단하게 대면적 초소수성 직물을 개발하였다는데 의의가 있다. 그러나 일반적으로 PET 직물을 감량하기 위해 사용하는 알칼리 용액의 농도보다 고농도의 용액을 사용함으로써 섬유 전반에 균일하게 표면 거칠기를 증대시킬 수 있었지만 이로 인해 섬유의 강도 저하가 발생한다는 한계를

지닌다. 이와 같은 한계점 보완을 위해 향후, 섬유의 강도 저하를 보강하는 연구 혹은 섬유 전반에 균일하게 표면 거칠기를 만들어주는 보다 저농도의 알칼리 용액 조건 관련 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] Li, X. M., Reinhoudt, D., & Crego-Calama, M. (2007). What do we need for a superhydrophobic surface? A review on the recent progress in the preparation of superhydrophobic surfaces. *Chemical Society Reviews*, 36(8), 1350-1368.
- [2] Ma, M., & Hill, R. M. (2006). Superhydrophobic surfaces. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 11(4), 193-202.
- [3] Xue, C. H., Jia, S. T., Zhang, J., & Ma, J. Z. (2010). Large-area fabrication of superhydrophobic surfaces for practical applications: an overview. *Science Technology of Advance Materials*, 11(3), 033002-1.
- [4] Zhang, X., Shi, F., Niu, J., Jiang, Y., & Wang, Z. (2008). Superhydrophobic surfaces: from structural control to functional application. *Journal of Materials Chemistry*, 18(6), 621-633.
- [5] Yao, X., Song, Y., & Jiang, L. (2011). Applications of Bio Inspired Special wettable Surfaces. *Advanced Materials*, 23(6), 719-734.
- [6] Golanski, L., Guiot, A., Braganza, D., & Tardif, F. (2010). New method for the characterization of abrasion-induced nanoparticle release into air from nanomaterials. *Proceedings of Nanotec*

hnology. 1, 720–723

- [7] Nel, A., Xia, T., Mädler, L., & Li, N. (2006). Toxic potential of materials at the nanolevel. *Science*, 311(5761), 622–627.
- [8] Dastjerdi, R., Montazer, M., & Shahsavan, S. (2009). A new method to stabilize nanoparticles on textile surfaces. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 345(1), 202–210.
- [9] Quéré, D. (2008). Wetting and roughness. *Annual Review of Materials Research*, 38, 71–99.
- [10] Zhou, H. (2014). Durable non-wetting fabrics: their preparation and liquid transport function. Deakin University.
- [11] Cassie, A. B. D., & Baxter, S. (1944). Wettability of porous surfaces. *Transactions of the Faraday Society*, 40, 546–551
- [12] Barthlott, W., & Neinhuis, C. (1997). Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces. *Plant a*, 202(1), 1–8.
- [13] Gao, X., & Jiang, L. (2004). Biophysics: water-repellent legs of water striders. *Nature*, 432(7013), 36–36.
- [14] Guo, Z., Liu, W., & Su, B. L. (2011). Superhydrophobic surfaces: from natural to biomimetic to functional. *Journal of Colloid and Interface Science*, 353(2), 335–355.
- [15] Parkin, I. P., & Palgrave, R. G. (2005). Self-cleaning coatings. *Journal of Materials Chemistry*, 15(17), 1689–1695.

- [16] Mishchenko, L., Hatton, B., Bahadur, V., Taylor, J. A., Krupenkin, T., & Aizenberg, J. (2010). Design of ice-free nanostructured surfaces alkalined on repulsion of impacting water droplets. *ACS Nano*, 4(12), 7699-7707.
- [17] Feng, X. J., & Jiang, L. (2006). Design and creation of superwetting/antiwetting surfaces. *Advanced Materials*, 18(23), 3063-3078.
- [18] Kissa E. (1996). Wetting and wicking Textile Research Journal, 66(10), 660-668.
- [19] 임현의, 박준식, & 김완두. (2009). 총설: 자연에서 배운 마이크로/나노구조물을 이용한 초발수 표면. *Elastomers and Composites*, 44(3), 244-251.
- [20] Bhushan, B., & Jung, Y. C. (2011). Natural and biomimetic artificial surfaces for superhydrophobicity, self-cleaning, low adhesion, and drag reduction. *Progress in Materials Science*, 56(1), 1-108.
- [21] 박후근. (2008). 다양한 초소수성 표면 구조체가 젖음성에 미치는 영향에 관한 연구, 석사학위논문. 국민대학교
- [22] 권성욱 (2014). 나노구조의 편면 초소수성 라디오셀 직물 개발, 박사학위 논문, 서울대학교.
- [23] 박예원 (2014). ZnO 나노로드와 DTMS를 처리한 나일론 직물의 초소수성 분석: 표면거칠기의 영향을 중심으로, 석사학위논문, 서울대학교.

- [24] 염색 가공 용어 사전, http://new2.dyetec.or.kr/search/search_view.php?mode=view&num=1068
- [25] 이정민 외 (1998). 섬유 가공학, 형설 출판사, p.336-337
- [26] 이정민 외 (1998). 섬유 가공학, 형설 출판사, p.337-338
- [27] Herbert W. M. (2007). Progress in polymer degradation and stability research, *Nova publishers*, p.15.
- [28] Zeronian, S. H., & Collins, M. J. (1989). Surface modification of polyester by alkaline treatments. *Textile Progress*, 20(2), 1-26.
- [29] Latta, B. M. (1984). Improved tactile and sorption properties of polyester fabrics through caustic treatment. *Textile Research Journal*, 54(11), 766-775.
- [30] Xue, C. H., Li, Y. R., Zhang, P., Ma, J. Z., & Jia, S. T. (2014). Washable and Wear-Resistant Superhydrophobic Surfaces with Self-Cleaning Property by Chemical Etching of Fibers and Hydrophobization. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 6(13), 10153-10161.
- [31] Wang, H., Zhou, H., Gestos, A., Fang, J., & Lin, T. (2013). Robust, Superamphiphobic Fabric with Multiple Self-Healing Ability against Both Physical and Chemical Damages. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 5(20), 10221-10226.
- [32] Zimmermann. water shedding angle: a new technique to evaluate the water-repellent properties of superhydrophobic surfaces

es.

[33] KS K 0594. (2008). Standard test method for water vapor transmission of textile fabrics.

[34] ASTM D 737-75. (2012). Standard test method for air permeability of textile fabrics

[35] 김경선. (1993). 알칼리 처리한 PET 직물의 역학적 특성 및 태의 변화, 석사학위논문, 건국대학교.

[36] Wang, Z., Macosko, C. W., & Bates, F. S. (2014). Tuning surface properties of poly (butylene terephthalate) melt blown fibers by alkaline hydrolysis and fluorination. *Applied Materials & Interfaces*, 6(14), 11640-11648.

[37] Dave, J., Kumar, R., & Srivastava, H. C. (1987). Studies on modification of polyester fabrics I: Alkaline hydrolysis. *Journal of Applied Polymer Science*, 33(2), 455-477.

[38] 최태준, 이수진, 김형호, 황언중, 김철근, & 원종필. (2012). 연신비에 따른 콘크리트 보강용 구조용 합성섬유의 인장특성. *한국 콘크리트학회 학술대회 논문집*, 5-6.

[39] 이중규, 박상호 & 김성훈. (2010). PET 필름의 이축연신에 따른 물성변화 연구. *Polymer (Korea)*, 34(6), 579-587

[40] Haghighatkish, M., & Yousefi, M. (1992). Alkaline hydrolysis of polyester fibers-structural effects. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 1(2), 56-61.

[41] 김종호, 김영대, 강경돈, 우순옥, & 남중희 (2002). 견 세리신

을 이용한 폴리에스테르의 기능성 향상. *한국잠사학회*, 44(1), 37-41

[42] Hsieh, C. T., & Chen, W. Y. (2010). Water/oil repellency and drop sliding behavior on carbon nanotubes/carbon paper composite surfaces. *Carbon*, 48(3), 612-619.

[43] Zimmermann, J., Reifler, F. A., Fortunato, G., Gerhardt, L. C., & Seeger, S. (2008). A Simple, One Step Approach to Durable and Robust superhydrophobic Textiles. *Advanced Functional Materials*, 18(22), 3662-3669.

[44] 심명희. (2012). 탄소 나노 튜브 복합 가공제를 이용한 초소수성 직물 개발, 박사학위논문, 서울대학교.

[45] Yip, J., & Ng, S. P. (2008). Study of three-dimensional spacer fabrics: Physical and mechanical properties. *Journal of Materials Processing Technology*, 206(1), 359-364.

[46] Zhang, P., Gong, R. H., Yanai, Y., & Tokura, H. (2002). Effects of clothing material on thermoregulatory responses. *Textile Research Journal*, 72(1), 83-89.

Abstract

A practical development of superhydrophobic polyester fabric by alkaline hydrolysis

Mi Seon Han

Department of Clothing and Textiles

The Graduate School

Seoul National University.

The objective of this paper was to obtain the binary roughness of the polyester fabric surface through alkali hydrolysis and treatment with fluorine-based chemical. To obtain the various levels of roughness, alkaline treatment time was varied. In addition, poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) and 97% 1H, 1H, 2H, 2H-perfluorodecyltriethoxysilane was used for achieving the superhydrophobic surface. In order to examine the changes of the fabric performance, the surface morphology, chemical composition, thickness, weight, fiber diameter and tensile strength were evaluated. Also, a static contact angle and a sh

edding angle were measured. As the alkali treatment time increased, the surface roughness increased forming lots of microporous on the fiber surface. Foaming the air pocket between the pits on the surface of the treated fabric caused to increase the static contact angle and decrease the shedding angle. Within this experiment, the fabric treated with alkaline for 20 minutes exhibited the most superior superhydrophobic surface. The treatment time of 15 minutes which showed the static contact angle of $162.2 \pm 2.7^\circ$ and shedding angle of $8.8 \pm 0.2^\circ$ was considered as the optimum condition without too much tensile strength loss. This research developed superhydrophobic polyester fabric that would allow the mass production by relatively simple and widely used alkaline hydrolysis treatment.

Keyword: alkaline hydrolysis, superhydrophobicity, surface roughness, contact angle, shedding angle, roll-off

Student number: 2013-21524